SOCIETAT D'HISTÒRIA
NATURAL DE LES BALEARS

Editorial
On line

Cap a una millor comprensió de l'estat, ecologia i conservació de les praderies d'angiospermes marines (*Posidonia oceanica* L. Delile) de les Illes Balears

Posidonia oceanica és l'espècie d'angiosperma marina dominant en la Mediterrània, on aquesta espècie endèmica cobreix uns 50.000 km^2 per sobre els 45 m de fondària (Bethoux i Copin-Montegut, 1986). Aquesta espècie forma praderies extenses i complexes estructuralment i topogràfica, gràcies al creixement dels rizomes verticals de la planta que, actuant al llarg d'escales temporals mil·lenàries (Mateo *et al.*, 1997) crea esculls. Aquestes praderies representen uns dels ecosistemes més productius de la mar Mediterrània, amb una producció primària neta d'uns 1,000 g PS m^{-2} any^{-1} (Duarte i Chiscano, 1999). Les aigües clares i els pendents suaus característics de les Illes Balears permeten el desenvolupament de praderies extenses de *P. oceanica*, les quals probablement representen l'ecosistema marí dominant de la costa de les Illes Balears. Malgrat això, el nostre coneixement sobre l'extensió, estat, ecologia, i funcions d'aquests importants ecosistemes a les Illes Balears encara és reduït, i fins el segle XXI el gruix de coneixement de l'ecologia d'aquestes praderies consistia en estudis sobre la seva presència a l'illa de Cabrera (Ballesteros, 1993) i la Badia de Palma (Díaz del Río *et al.*, 1993), els impactes de l'aqüicultura a la Badia de Fornells (Menorca) (Delgado *et al.*, 1999), la producció de carbonats a la badia de Pollença (Canals i Ballesteros, 1997), i alguns aspectes de la seva dinàmica paleontològica (Mateu *et al.*, 2001). Els ecosistemes d'angiospermes marines estan sota pressió arreu del món (Duarte, 2002), les Illes Balears incloses (e.g. Marbà *et al.*, 2002), i per tant la conservació d'aquests importants ecosistemes requereix incrementar els esforços per a entendre la seva ecologia i el seu paper en l'ecosistema, per així poder formular estratègies de conservació efectives.

Per a assolir aquest repte, a les Illes Balears s'ha constituït un ampli equip interdisciplinari, en el que s'estableix una col.laboració estreta entre investigadors de diferents institucions i disciplines, així com funcionaris de diferents departaments governamentals encarregats de la regulació i conservació del medi ambient. La inusual llarga llista de col.laboradors a aquesta editorial és en efecte una bona,

malgrat no exhaustiva, mostra d'aquest consorci. El desenvolupament d'aquest consorci ha permès el compromís de desenvolupar el coneixement bàsic requerit, com mostra el nombre de projectes de recerca en funcionament per adreçar aquests temes, malgrat que una part important dels resultats de recerca encara no s'hagin publicat. Aquí, mostrem una visió del conjunt d'esforços en recerca dels darrers 4 anys, i els coneixements sobre l'ecologia de les praderies de *P. oceanica* que estan revelant. Magrat aquest relat és lleugerament extens pel format usual de les editorials d'aquesta revista, creiem que aquest forum és la millor plataforma per difondre els coneixements que s'estan obtenint.

L'àrea protegida de praderies de *P. oceanica* a les Illes Balears ha crescut exponencialment durant els últims 5 anys. S'inicià a protegir les praderies de *P. oceanica* dins del Parc Nacional de l'Arxipèlag de Cabrera des de la declaració del parc l'any 1991. Des de llavors, el Govern de les Illes Balears ha definit tres instruments addicionals per a protegir les praderies de *P. oceanica*: una xarxa de Reserves Marines, gestionada per la Direcció General de Pesca, una xarxa de Parcs Naturals, i un conjunt d'indrets d'interès comunitari dins la Xarxa Natura 2000 de la Unió Europea (*http : //europa.eu.int/comm/environment/nature/natura.htm*), gestionades per la Direcció General de Biodiversitat. Aquests instruments nous han incrementat l'àrea protegida de praderies de P. oceanica en diversos ordres de magnitud. Actualment, però, no és possible establir el percentatge de l'àrea de praderies de *P. oceanica* de les Illes Balears protegida, ja que elements necessaris per aquesta estimació: l'extensió total de praderies *P. oceanica* de les Illes Balears i la part d'aquesta inclosa en les zones protegides, encara es desconeixen. L'única estimació disponible de l'àrea de les praderies de *P. oceanica* a les Illes Balears suggereix una extensió de praderies *P. oceanica* a les Illes Balears d'uns 2.000 km2, representant el 70 % de tota l'àrea de praderies de la costa espanyola (Mas *et al.*, 1993). Per fins comparatius, l'àrea de praderies d'angiospermes marines a la costa catalana s'ha calculat que és només de 40 km2. A l'examinar les dades utilitzades per a calcular aquest valors s'observen importants omissions en la zona total coberta, i per tant aquest valors probablement subestimen l'actual extensió de les praderies.

El projecte *"Protecció de les praderies de Posidonia en Indrets d'Interès Comunitari de les Illes Balears"*, del Govern de les Illes Balears (Taula 1) pretén adreçar aquest buit elucidant, utilitzant tècniques precises i fiables, l'àrea coberta per *P. oceanica* en els indrets d'interès comunitari de la Xarxa Natura 2000 de les Illes Balears.

L'estat de les praderies actualment s'està valorant a partir de determinar la posició i dinàmica dels seus límits en fondària, tant superior com inferior, i el balanç demogràfic (mortalitat vs. reclutament) de les praderies (Taula 1). Les praderies de *P. oceanica* creixen fins a fondàries de 43 m a les badies més pristines de l'Illa de Cabrera (cf. Marbà *et al.*, 2002), la penetració més profunda fins ara descrita per aquesta espècie. El límit superior, que pot ser tan som com 1 m sota el nivell mig del mar, s'ha detectat que està en regressió en diverses zones de Mallorca (Sánchez, 2003). El balanç demogràfic de les praderies s'està examinant mitjançant censos repetits de plantes marcades en parcel.les permanents (cf. Marbà *et al.*, 2002). Aquestes parcel.les, instal.lades gràcies a l'esforç combinat del projectes M&M's, LIFE-Posidonia, i projectes a l'Arxipèlag de Cabrera (Taula 1) ara són presents en 27 praderies de les Illes Balears, de les que el 75% mostren regressió, el 0% mostra expansió, i el 25% mostren estabilitat (Marbà *et al.*, dades no publicades). Aquesta capacitat per a seguir l'estat de les praderies de *P. oceanica* a les Illes Balears s'ha expandit substancialment des de la creació, l'any 2002, d'una xarxa de seguiment basada en la participació de voluntaris ((http://dgpesca.caib.es). La xarxa ara comprèn 102 participants (Taula 2), que realitzen un seguiment de praderies en totes les illes excepte Menorca, i els esforços continuen per a expandir-la. L'existència d'aquesta xarxa de seguiment, que inclou la instal.lació d'un nombre d'enregistradors de temperatura, ha permès detectar la resposta de les angiospermes marines a esdeveniments extrems, incloent un episodi de mortalitat extrema desencadenat per les tempestes intenses de la tardor del 2001, i un episodi de floració massiva, present en totes les praderies examinades, a la tardor del 2003, aparentment desencadenada per les temperatures anòmalament càlides que van assolir les aigües superficials de la costa balear a l'estiu del 2003 (29,5 °C, Díaz-Almela *et al.*, dades no publicades).

La biologia reproductiva de *P. oceanica* també s'està examinant, mitjançant l'avaluació detallada de l'esforç i l'èxit reproductiu en praderies de Mallorca i Formentera. L'estructura genètica resultant de les praderies s'està investigant utilitzant marcadors genètics (microsatèl.lits) nous d'alta resolució que permeten elucidar l'estructura clonal. Aquests nous marcadors revelen una inesperada elevada diversitat genètica en les praderies de Balears (Alberto *et al.*, 2002). El projecte M&M's proporciona els recursos necessaris per a desenvolupar aquests marcadors genètics, els quals ara s'estan utilitzant per a examinar l'estructura genètica de les praderies de la xarxa d'indrets d'interès comunitari amb els recursos proporcionats pel projecte LIFE-Posidonia. Degut a les lentes taxes de creixement horitzontal de *P. oceanica*, 2 cm any^{-1} de mitjana (Marbà i Duarte, 1998), és impossible observar directament la formació de praderies per *P. oceanica.* Tot i això, la dinàmica de taques s'està quantificant en una zona soma amb una intensa dinàmica de taques en el Parc Nacional de Cabrera (cf. Marbà *et al.*, 2002). Aquesta recerca ha evidenciat l'increment de la velocitat de recolonització de la praderia des de que es van implementar mesures de protecció, malgrat la projecció de la dinàmica de creixement actual indica que la recolonització de tota la zona no s'assolirà fins passats uns 700 anys compats a partir d'ara (Marbà *et al.*, 2002). Models més sofisticats per a predir el creixement de nous clons de *P. oceanica* s'estan produïnt dins del projecte M&M's per a examinar l'eficiència i els colls d'ampolla d'aquest procés. Les conseqüències del creixement de taques de *P. oceanica* mantingut al llarg d'escales temporals centenàries per la formació d'esculls també s'està modelant mitjançant l'ús de models basats en agents, com a part del projecte de col.laboració entre científics australians i espanyols (Taula 1) per a mode-

Títol del projecte / Title	**Acrònim / Acronym**	**Agència financera / Funding Agency**	**Participants**	**Duració / Duration**	**A**	**S**	**C**	**E**	**F**
Protección de las praderas de Posidonia en LICs de Baleares	LIFE-Posidonia	CE	Govern Balear IMEDEA Fund. Bosch i Gimpera	2001-2005	X	X	X	X	X
Monitoring and Managing of European Seagrass Beds	M&M's	CE	Direc. Gral. Pesca CAIB, IMEDEA	2001-2004		X	X	X	X
Effects of nutrient release from Mediterranean fish farms on benthic vegetation in coastal ecosystems	MedVeg	CE	Direc. Gral. Pesca CAIB IMEDEA	2002-2004		X	X	X	X
Nutrients Cycling and the Trophic Status of Coastal Ecosystems	EUROTROPH	CE	IMEDEA	2001-2004					X
Evaluación del efecto reserva y de las medidas de control de fondeo en la dinámica poblacional de Posidonia oceanica en el Parque Nacional de Cabrera	Cabrera	O.A. Parques Nacionales	IMEDEA	2000	X	X	X	X	
Expansión de Caulerpa prolifera, C. taxifolia, C. racemosa en el Mediterráneo español: dinámica clonal, producción y destino de la producción	Caulexpan	Plan Nacional I+D	IMEDEA UIB	2002-2005		X	X	X	
Estudio de la Posidonia oceanica y su interacción con la circulación costera y los procesos litorales en la costa Valenciana	POSICOST	Plan Nacional I+D	IMEDEA Univ. Pol. València	2000-2001	X	X			X
Regresión de praderas de Posidonia oceanica y calidad ambiental en el Parque Nacional del Archipiélago de Cabrera: causas, magnitud, distribución y posibles estrategias de remediación	RegPos	Min. Medio Ambiente	IMEDEA	2003-2006		X	X	X	
Cooperación Hispano-Australiana en la modelización de la colonización de praderas submarinas de Posidonia	HispAus-Pos	Plan Nacional I+D	IMEDEA	2002-2003			X	X	
Marine Biodiversity and Ecosystem Function	MARBEF	CE	65 institucions d'Europa UIB	2004-2008				X	X

Taula 1. Projectes de recerca que inclouen recerca sobre praderies de *Posidonia oceanica* a les Illes Balears durant els últims 4 anys. Activitats: A = estimacions d'àrea, S = estat, C = conservació, E = ecologia, F = funcions.
Table 1. *Research projects involving research on* Posidonia oceanica *meadows in the Balearic Islands over the past 4 years Activities: A = Area estimates, S = Status, C = Conservation, E = Ecology, F = Functions.*

lar la dinàmica de creixement de les espècies del gènere *Posidonia*, el qual presenta una distribució disjunta a Austràlia i a la mar Mediterrània.

Les funcions de les praderies de *P. oceanica* han de ser investigades per a entendre millor el seu paper a l'ecosistema marí. Per això, projectes valorant la producció, el metabolisme i l'exportació de matèria orgànica, així com l'efecte de les praderies en l'intervanvi de gasos entre l'aire i el mar s'estan ara completant en el marc del projecte EUROTROPH, el qual també examina la importància de *P. oceanica* en atrapar materials de la columna d'aigua. Les interaccions entre la *P. oceanica*, l'hidrodinamisme i el transport sedimentari, i la interacció resultant entre la dinàmica de *P. oceanica* i la de les platges adjacents van ésser anteriorment examinades amb el projecte POSICOAST (cf. Medina *et al.*, 2001, Basterretxea *et al.*, 2004), el qual va proporcionar coneixements que han resultat ser un instrument útil per a predir el possible impacte de les regeneracions de platges a les praderies de *P. oceanica*. La relació entre *P. oceanica* i la comunitat bacteriana associada a la seva rizosfera s'està examinant, dins el marc del projecte MedVeg, a través de la investigació de l'estructura i abundància de la comunitat bacteriana i dels processos biogeoquímics que realitzen. El paper de les praderies de *P. oceanica* com a focus de biodiversitat s'està avaluant també examinant altres components faunístics, incloent peixos (projecte POSICOST) així com ocells marins en perill, mamífers i tortugues (projecte LIFE-Posidonia).

Una fracció significativa de la recerca en ecologia de les praderies de *P. oceanica* s'està encaminant cap a la valoració de les fonts d'estrés per les praderies i en la determinació de les causes de la regressió generalitzada de les praderies. El predomini de sediments carbonatats pobres en ferro a la costa balear, comporta que aquests sediments siguin altament vulnerables per desenvolupar condicions anòxiques davant entrades de matèria orgànica (Holmer *et al.*, 2003). Inclús entrades de petites quantitats de matèria orgànica originen el desenvolupament de condicions d'anòxia en els sediments, els quals estan associats a un increment de la mortalitat de les praderies (Holmer *et al.*, 2003). Actualment s'estan avaluant mesures de remeiació, mitjançant l'adició experimental de ferro per a incrementar la capacitat tamponadora dels sediments, amb resultats altament prometedors. Altres estressos, com són aquells derivats del desplaçament competitiu potencial de *P. oceanica* per macroalgues, particularment especies foranes del gènere *Caulerpa* (*C. taxifolia* i *C. racemosa*), s'estan examinant, a la vegada que s'estudia detalladament de la dinàmica de creixement d'aquestes espècies i la fauna associada (Taula 1).

S'estan extenent els esforços encaminats a la conservació mitjançant la redacció d'un manual per la gestió d'angiospermes marines, un producte clau del projecte M&M's, així com la formulació d'un pla de gestió per les praderies de *P. oceanica* de la xarxa de llocs d'interès comunitari (LICs) dins del marc del projecte LIFE-Posidonia. Dins el projecte LIFE-Posidonia hi ha plans per a disminuir, en el futur, la pressió causada pels fondejos sobre les praderies de *P. oceanica*, instal.lant un conjunt de punts de fondeig permanents que no danyin les praderies en zones clau de la xarxa d'indrets d'interès comunitari a les Illes Balears. L'educació és una de les mesures de conservació més efectives a mig i llarg termini. Recentment s'han editat dos llibrets (Massutí *et al.*, 2000, San Félix, 2000) a les Illes Balears per a apropar al públic els elements clau sobre la biologia i el paper ecològic de les praderies de *P. oceanica*, els quals també s'han comentat per Duarte *et al.* (2003). Esforços adicionals s'han realitzat durant esdeveniments com són la "Setmana de la Ciència", amb exposicions mostrant el paper ecològic de *P. oceanica*. El grau de concienciació dels habitants de Balears sobre la importànica de *P. oceanica* ha estat objecte d'un estudi recent (Medina Pons, 2003), disponible a http://www.imedea.uib.es/. La capacitat de recerca s'està expandint gràcies a la formació de nous científics: 5 estudiants de doctorat, dos dels quals estan finançats pel programa de formació del Govern de les Illes Balears, estan actualment realitzant tesis doctorals que investiguen diversos aspectes de l'ecologia de *P. oceanica* a la Universitat de les Illes Balears, i dos investigadors postdoctorals que desenvoluparan la seva recerca en el marc d'aquests projectes.

El desenvolupament de la recerca descrita aquí requereix el desenvolupament d'un consorci interdisciplinar entre científics amb seu a l'IMEDEA i la Universitat de les Illes Balears, involucrant actual-

Indret / Site	Illa	Municipi	Profunditat	Grup responsable / Responsible Group
Cala Tuent	Mallorca	Escorca	10 m	DGP
Es Caló	Mallorca	Artà	5 m	Voluntaris del PN de Llevant
Cala Matzoc	Mallorca	Artà	10 m	Voluntaris del PN de Llevant
Cala Lliteras	Mallorca	Capdepera	10 m	Centro de Buceo Mero
Portocristo	Mallorca	Manacor	5 m / 15 m	Gimnàs Manacor
S'Estanyol	Mallorca	Llucmajor	5 m	BomberSub
Puig de Ros	Mallorca	Llucmajor	9 m	Top Dive
Es Caló de la Reina	Mallorca	Llucmajor	5 m	Voluntaris de la RM de la Badia de Palma
Illa del Sec	Mallorca	Calvià	18 m	Voluntaris de Protecció Civil de Calvià
Caló des Monjo	Mallorca	Calvià	10 m	Voluntaris de Protecció Civil de Calvià
Cala Figuera	Mallorca	Calvià	15 m	Centro de Buceo Isurus
Cala Marmacen	Mallorca	Andratx	15 m	Centro de Buceo 7 Mares
Port Adriano	Mallorca	Calvià	15 m	Centro de Buceo Squalo/Centro de Buceo del Mar
Es Caló de s'Oli	Formentera	Formentera	5 m	Centro de Buceo Vellmarí/Voluntaris de la RM dels Freus/Voluntaris del PN de ses Salines
Illa de Santa Eulària	Eïvissa	Santa Eulària	15 m	Centro de Buceo Punta Dive
Illot des Cargolet	Eïvissa	Eïvissa	10 m	Centro de Buceo H2O/Voluntaris del PN de Ses Salines
Número total de participants = 102				

Taula 2. Indrets i número de participants involucrats en la xarxa de seguiment de *P. oceanica* de les Illes Balears l'any 2003.
Table 2. *Sites and number of participants encompassed by the* P. oceanica *monitoring network of the Balearic Islands in 2003.*

ment 9 científics permanents, 4 científics posdoctorals, 5 estudiants de doctorat, i 5 tècnics; juntament amb experts i funcionaris del Govern de les Illes Balears i del Parc Nacional de l'Arxipèlag de Cabrera, i científics i institucions d'altres zones d'Espanya, Europa i d'arreu del món, així com de la xarxa de voluntaris descrita (Taula 2). Aquest consorci ha permès que la recerca que s'està realitzant millori la nostra comprensió de l'ecologia de *P. oceanica* a les Illes Balears i la nostra capacitat per conservar de forma efectiva aquests ecosistemes, i ha proporcionat una plataforma des de la qual aquestes capacitats es puguin desenvolupar encara més.

Resten buits importants en el nostre coneixement del paper de *P. oceanica*, els quals requereixen futurs esforços de recerca. Noves amenaces s'han d'examinar, incloent el possible impacte de la salmorra de les plantes dessaladores, les quals s'implantaran de forma generalitzada a les Illes Balears, els impactes dels abocaments orgànics per la creixent flota d'embarcacions recreatives a les Illes Balears, els possibles impactes de la construcció i funcionament dels existents i futurs ports esportius, programes de regeneració de platges, així com els impactes derivats del canvi climàtic, com són l'erosió costera i l'escalfament de l'aigua del mar (Duarte, 2002). Cal desenvolupar tecnologies efectives i poc costoses per restaurar les praderies de *P. oceanica* i el seu hàbitat. Cal assegurar el finançament per a mantenir els programes de seguiment, i si és possible, expandir les capacitats observacionals actuals. La interacció entre les praderies de *P. oceanica* i les platges adjacents, la major font d'ingressos a través a l'activitat turística a les Illes Balears, també roman poc entesa, i el paper de les acumulacions de fullaraca sobre les platges, que poden formar dipòsits de fins a 3 m d'alçada i són trets en quantitats que exedeixen les 150000 tones solament a l'illa de Mallorca, en la protecció de la línia de costa, la prevenció de l'erosió de les patges, el suministre de materials minerals a la platja, i la formació de dunes i el subministre de nutrients a la vegetació dunar necessita esser investigat.

Agraïments

La recerca descrita en aquest article ha estat produïda per projectes finançats per la Comissió Europea (LIFE i V Programa Marc de projectes I+D), i co-finançat per les institucions participants, el Pla Nacional d'I+D del Ministeri de Ciència i Tecnologia, i contractes de recerca del Parc Nacional de l'Arxipèlag de Cabrera. Donem les gràcies a tots els nostres socis d'aquests projectes, així com als grups de voluntaris que participen en el programa de seguiment dels herbeis de *Posidonia oceanica* a les Illes Balears.

Towards improved understanding of the status, ecology and conservation seagrass (*Posidonia oceanica* L. Delile) meadows in the Balearic Islands

Posidonia oceanica is the dominant seagrass species in the Mediterranean, where this endemic species covers about 50,000 km² above 45 m depth (Bethoux and Copin-Montegut, 1986). This species develops extensive meadows, which are structurally and topographical complex, as the growth of the vertical rhizomes of the plant, acting along millenary time scales (Mateo *et al.*, 1997) develops reefs. These meadows represent one of the most productive ecosystems in the Mediterranean Sea, with a net primary production of about 1,000 g DW m^{-2} year-1 (Duarte and Chiscano, 1999). The clear waters and shallow slopes characteristic of the Balearic islands allows the development of extensive *P. oceanica* beds, which probably represents the dominant marine ecosystem in the coast of the Balearic islands. Yet, our knowledge on the extent, status, ecology, and functions of these important ecosystems in the Balearic islands is still meagre, and before the XXIst Century the body of knowledge on the ecology of these meadows including information on their presence in the Cabrera island (Ballesteros, 1993) and the Bay of Palma (Díaz del Río *et al.*, 1993), the impacts of aquaculture operations at Fornells Bay (Menorca, Delgado *et al.*, 1999), carbonate production in Pollença Bay (Canals and Ballesteros, 1997), and some aspects of their palaeodynamics (Mateu *et al.*, 2001). Seagrass ecosystems are under pressure worldwide (Duarte, 2002), including the Balearic Islands (e.g. Marbà *et al.*, 2002), so that the conservation of these important ecosystems calls for increased efforts to understand their ecology and role in the ecosystem, as well as to formulate effective conservation strategies.

In order to address this challenge, a broad interdisciplinary partnership has been established in the Balearic Islands, involving a close collaboration between scientists from different institutions and disciplines, as well as officials at different governmental departments in charge of regulatory and conservation efforts. The unusually large list of contributors to this editorial is indeed a good, albeit not exhaustive, sample of this partnership. The development of this partnership has allowed the undertaking of the development of the required knowledge-base, as a number of research projects are now in place to address these issues, although the bulk of the research results has not yet been published. Here, we provide an overview of research efforts within the past 4 years, and the insights on the ecology of *P. oceanica* meadows they are delivering. Although this account is somewhat extensive for the usual format of editorials in this journal, we believe that this forum best serves the goal of increasing awareness on these on-going developments.

The area of *P. oceanica* meadows under protection in the Balearic islands has grown exponentially over the past 5 years. From the initial protection of the *P. oceanica* meadows contained within the National Park of the Cabrera Archipelago since the declaration of the park in 1991. Three additional instruments protecting *P. oceanica* meadows have been developed by the Balearic Government since: A network of marine reserves, managed by the Directorate General of Fisheries, and a network of Natural Parks, and a series of site of community importance within the Natura 2000 Network of the European Union (*http://europa.eu.int/comm/environment/nature/natura.htm*), managed by the Directorate General of Biodiversity. These new developments have increased the area of protected *P. oceanica* meadows by orders of magnitude. Yet, it is not possible at present to establish the percent of the area of *P. oceanica* meadows in the Balearic islands now protected, as the necessary elements: the total area of *P. oceanica* meadows in the Balearic Islands and that included in the protected areas are

both unknown. The only estimate of the area of *P. oceanica* meadows in the Balearic Islands available suggests an extension of *P. oceanica* meadows in the Balearic islands of about 2,000 km^2, representing 70 % of the total area of the meadows in the Spanish coast (Mas *et al.*, 1993). For comparative purposes, the are of seagrass meadows in he Catalonian coast has been estimated at only 40 km^2. However, examination of the data used to derive this estimate reveals important gaps in the coverage, so that this estimate is likely a gross underestimate of the actual extent of these meadows.

The project *"Protection of Posidonia meadows in the Sites of Community Interest of the Balearic Islands"*, of the government of the Balearic Island (Table 1) aims at addressing this gap by elucidating, using reliable and precise technologies, the area covered by *P. oceanica* in the Balearic Islands sites of community importance within the Natura 2000 Network.

The status of the meadows is now being assessed through the investigation of their depth limits, both upper and lower, and the demographic balance (mortality vs. recruitment) of the meadows (Table 1). *P. oceanica* meadows grow down to 43 m depth at the most pristine sites in Cabrera Island (cf. Marbá *et al.*, 2002), the deepest penetration yet reported for the species. The upper limit, which can be as shallow as 1 m below mean sea level has been detected to be in regression in various areas in Mallorca (Sánchez, 2003). The demographic balance of the meadows is being assessed through the repeated census of permanent plots with tagged plants (cf. Marbà *et al.*, 2002). These plots, established through the combined efforts of the projects

M&M's, LIFE-Posidonia, and projects in the Cabrera Archipelago (Table1) now encompass 27 meadows in the Balearic islands, with 75 % of them showing decline, 0 % showing expansion, and 25 % showing steady state (Marbà *et al.*, unpubl. data). These capacities to monitor the status of *P. oceanica* meadows in the Balearic Islands have been greatly expanded by the onset, in 2002, of a volunteer-based monitoring network (http://dgpesca.caib.es). The network now comprises 102 participants (Table 2), encompassing all of the islands except Menorca, and efforts are underway to expand the network. The existence of this monitoring network, which includes the deployment of a number of temperature data loggers, has allowed the detection of seagrass responses to extreme events, including an extensive mortality event triggered by the extreme storms of the fall of 2001, and a massive flowering event, extending to all of the meadows examined, in the fall of 2003, apparently triggered by the anomalously warm temperatures reached in the surface waters of the Balearic coast in the summer of 2003 (29.5 °C, Díaz-Almela *et al.*, unpubl. data).

The reproductive biology of *P. oceanica* is also now being assessed, through the detailed evaluation of reproductive effort and success in meadows along Mallorca and Formentera. The resulting genetic structure of the meadows is now being investigated applying new, high-resolution genetic markers (microsatellite markers) allowing the elucidation of clonal structure, which are displaying an unexpectedly high genetic diversity in the Balearic meadows (Alberto *et al.*, 2002). The M&M's project provided the resources necessary to derive these genetic markers, which are now being used to address the genetic structure of meadows in the networks of sites of communitary interest through the resources provided by the LIFE-Posidonia project. Because of the slow horizontal rates of *P. oceanica*, 2 cm $year^{1}$ on average (Marbà and Duarte, 1998), it is impossible to directly observe meadow formation by *P. oceanica.* However, patch dynamics are being assessed in a shallow area with an important patch dynamics in the Cabrera National Park (cf. Marbà *et al.*, 2002). This research has provided evidence of increased meadow recovery following the implementation of conservation policies, although the projection of present growth dynamics indicated that full recovery will only be reached some 700 years from present (Marbà *et al.*, 2002). More sophisticated models to predict the growth of new clones of *P. oceanica* is are now being produced within the M&M's project to examine the efficiency and bottle necks of this process. The consequences of the growth of *P. oceanica* patches sustained along centennial time scales for the development of reefs is also being modelled through the use of agent-based models, as part of a collaborative project between Australian and Spanish scientists

(Table 1) to model the growth dynamics of species within the genus Posidonia, which presents a disjunct distribution in Australia and the Mediterranean Sea.

The functions of *P. oceanica* meadows must be elucidated to better understand their role in the marine ecosystem. To this end, projects assessing the production, metabolism and export of organic matter, as well as the effect of the meadows on gas exchanges between the air and the sea are now being completed within the EUROTROPH project, which also addresses the importance of *P. oceanica* on the trapping of materials from the water column. The interactions between *P. oceanica*, water flow and sediment transport, and the resulting interaction between the dynamics of *P. oceanica* and the associated beaches were further addressed through the POSICOAST project (cf. Medina *et al.*, 2000, Bastrretxea *et al.*, 2004), which provided knowledge that proved instrumental to predict the possible impact of beach replenishment activities on *P. oceanica* meadows. The relationship between *P. oceanica* and the associated bacterial community in its rhizosphere is being examined, within the realm of projects MedVeg project, through the investigation of the structure and abundance of the microbial community as well as the biogeochemical processes they perform. The role of *P. oceanica* meadows as a biodiversity hot-spot is being evaluated also through the examination of other faunal components, including fish (POSICOST project) as well as endangered sea birds, mammals and turtles (LIFE-Posidonia project).

A significant fraction of the research on the ecology of *P. oceanica* meadows is being directed through the assessment of the sources of stress to the meadows and the elucidation of the causes of the widespread decline of the meadows. The dominance of iron-poor carbonate sediments in the Balearic coast, renders these sediments highly vulnerable to develop anoxic conditions following organic inputs (Holmer *et al.*, 2003). Even low organic inputs are conducive to the development of anoxic conditions in the sediments, which are associated with an increased mortality of the meadows (Holmer *et al.*, 2003). Remediation measures, involving the experimental addition of iron to increase the buffering capacity of the sediments are now being evaluated, with highly promising results. Other stresses, such as those resulting from the potential competitive displacement of *P. oceanica* by competing macroalgae, particularly alien species within the genus *Caulerpa* (*C. taxifolia* and *C. racemosa*), are now being completed, along with a detailed study of the growth dynamics of these species and the associated fauna (Table 1).

Conservation efforts are being extended through the drafting of a seagrass management handbook, a key product of the M&M's project, as well as the formulation of a management plan for *P. oceanica* meadows in the network of sites of community interest within the realm of the LIFE-Posidonia project. There are advanced plans, within the LIFE-Posidonia project, to release the pressure caused by anchoring on the seagrass beds through the deployment of a network of seagrass-friendly moorings in key areas of the network of sites of community interest in the Balearic Islands. Educational efforts are amongst the most effective conservation measures on the mid- to long-term. Two booklets (Massutí *et al.*, 2000, San Félix, 2000) have been edited recently in the Balearic Islands to provide the public with key facts on the biology and ecological role of *P. oceanica* meadows, which has also been discussed by Duarte *et al.* (2003). Additional efforts have been made at events such as the "Setmana de la Ciencia", with displays showing the ecological role of *P. oceanica*. The awareness of the Balearic public on the importance of *P. oceanica* has been the subject of a recent study, available at http://www.imedea.uib.es/. Research capacities are being expanded through the training of new scientists: 5 Ph.D. students, two of them funded from the training program of the Government of the Balearic Islands, are currently engaged in Ph.D. projects addressing various aspects of the ecology of *P. oceanica* in the University of the Balearic Islands, and two postdoctoral fellows are further developing their research skills within the realm of these projects.

The development of the research described above required the development of an interdisciplinary partnership between scientists based at the IMEDEA and the University of the Balearic Islands, invol-

ving at present 9 permanent scientists, along with an additional 4 postdoctoral fellows, 5 Ph.D. students, and 5 technitians; together with experts and officials in the Balearic government and the National Park of the Cabrera Archipelago, and scientists in institutions elsewhere in Spain, Europe and throughout the world, as well as the network of volunteers described (Table 2). This partnership has made the on-going research to improve our understanding of the ecology of *P. oceanica* in the Balearic Islands and our capacity to effectively conserve these ecosystems possible, and has provided a platform from which these capacities can be developed further.

Important gaps in our knowledge of the role of *P. oceanica* remain, which require further research efforts. New threats must be addressed, including the possible impact of the outfall from desalination plants, which will become widespread in the Balearic Islands, the impacts of organic wastes delivered by the growing recreational boat fleet in the Balearic islands, the possible impacts of the construction and operation of existing and new recreational harbours, beach replenishment programs, as well as impacts derived from global change, such as widespread coastal erosion and seawater warming (Duarte, 2002). Cost-effective technologies for the restoration of *P. oceanica* meadows and their habitat must be developed. Funding to sustain the monitoring programs must be secured to maintain and, if possible, expand present observational capacities. The interaction between *P. oceanica* meadows and the adjacent beach, a major source of income through tourism activities in the Balearic islands, also remains poorly understood, and the role of the beach cast material, which may develop banks up to 3 m tall on the shore of the Balearic Islands and are removed in quantities exceeding 150000 tons in the island of Mallorca alone, in the protection of the shoreline, the prevention of beach erosion, the provision of mineral materials to the beach, and the formation of dunes and the provision of nutrients to dune vegetation needs be elucidated.

Acknowledgements

The research described in this paper has been produced by projects funded by the European Commission (LIFE and V Framework Program of I+D programs), and co-funded by the participating institutions, the Plan Nacional de I+D of the Spanish Ministry of Science and Technology, and research contracts from the National Park of the Cabrera Archipelago. We thank all of our coworkers on these projects, as well as the volunteer groups that contribute to the monitoring program of *Posidonia oceanica* meadows in the Balearic Islands.

Carlos M. Duarte[1], Elvira Álvarez[2], Josep Amengual[3], Cristina Barrón[1], Gotzon Basterretxea[1], María Calleja[1], Salud Deudero[4], Elena Díaz-Almela[1], Antoni Grau[2], Catalina Massutí[5], Micaela García[1], Beatriz Morales[1], Joan Moranta[1], Núria Marbà[1], Daniel Oro[1], Miquel Planas[2], Ramón Rosselló-Mora[1], Tomás Sintes[6], Jorge Terrados[1] i Joaquín Tintoré[1]

[1] IMEDEA (CSIC-UIB), Institut Mediterrani d'Estudis Avançats, C/ Miquel Marquès 21, 07190 Esporles (Illes Balears)

[2] Direcció General de Pesca, Conselleria d'Agricultura i Pesca, Govern de les Illes Balears, Foners 10, 07006 Palma de Mallorca, (Illes Balears)

[3] Parque Nacional del Archipiélago de Cabrera, Plaza de España, Palma de Mallorca (Islas Baleares).

[4] Departament de Biologia, Universitat de les Illes Balears, Carretera de Valldemossa km 7.5, 07122 Palma de Mallorca (Islas Baleares)

[5] Direcció General de Biodiversitat, Conselleria de Medi Ambient, Govern de les Illes Balears, Av. Gabriel Alomar i Villalonga 33, 07006 Palma de Mallorca, (Illes Balears)

[6] Departament de Física, Universitat de les Illes Balears, Carretera de Valldemossa km 7.5, 07122 Palma de Mallorca (Islas Baleares)

Referències / References

Alberto, F., Correia, L., Arnaud-Haond, S., Billot, C., Duarte, C.M. i Serrao, E. 2003. New microsatellite markers for the endemic Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica. Molecular Ecology Notes*, 3: 253-255.

Ballesteros, E. 1993. Algues bentòniques i fanerógames marines. *In:* Alcover, J.A. Ballesteros, E. i Fornós, J.J. (eds.). *Història natural de l'Arxipèlag de Cabrera.* Monografies de la Societat d'Història Natural de les Balears, 2: 503-530.

Basterretxea G., Orfila A., Jordi A., Casas B., Lynett P., Liu P.L.F, Duarte C.M. i Tintoré, J. 2004. Seasonal dynamics of a microtidal pocket beach with *Posidonia oceanica* seabeds (Mallorca, Spain). *Journal of Coastal Research* 20 (in press).

Canals, M., i Ballesteros, E. 1997. Production of carbonate particles by phytobenthic communities on the Mallorca-Menorca shelf, northwestern Mediterranean Sea. *Deep-Sea Research* II 44, 611-629.

Delgado, O., Ruiz, J., Pérez, M., Romero, J. i Ballesteros, E. 1999. Effects of fish farming on seagrass in a Mediterranean Bay: Seagrass decline after organic loading cessation. *Oceanologica Acta* 22: 109-117.

Díaz del Río, V., Somoza, L., Goy, J.L., Zazo, C., Rey, J., Hernandez-Molina, F.J. i Mateu, G. 1993. Mapa Fisiográfico de la Bahía de Palma. Publicaciones Especiales del Instituto Español de Oceanografía, 16.

Duarte, C.M. 2002. The future of seagrass meadows. *Environmental Conservation*, 29: 192-206.

Duarte, C.M., Agustí, S., Marbá, N. i Terrados, J. 2003. Ecología marina y servicios de los ecosistemas litorales. *In*: Duarte, C.M. i Grases, F. (eds.), *El papel social de la ciencia en Baleares: un homenaje a Javier Benedí.* pp. 51-75. Universitat de les illes Balears.

Duarte, C.M. i Chiscano, C.L. 1999. Seagrass biomass and production: A reassessment. *Aquatic Botany* 65: 159-174.

Holmer M., Duarte, C.M. i Marbà, N. 2003. Sulfur cycling and seagrass (*Posidonia oceanica*) status in carbonate sediments. *Biogeochemistry*, 66: 223-239.

Marbà, N. i Duarte, C.M. 1998. Rhizome elongation and seagrass clonal growth. *Marine Ecology Progress Series* 174: 269-280.

Marbà N., Duarte, C.M., Holmer, M., Martínez, R., Basterretxea, G., Orfila, A., Jordi, A. i Tintoré, J. 2002. Assessing the effectiveness of protection on *Posidonia oceanica* populations in the Cabrera National Park (Spain). *Environmental Conservation*, 29: 509-518.

Mas J, Franco, I i Barcala, E. 1993. Primera aproximación a la cartografía de las praderas de *Posidonia oceanica* en las costas mediterráneas españolas.factores de alteración y de regresión. Legislación. *Publ. Espec. Inst.Esp. Oceanogr.*, 11: 111-122.

Massutí, E., Grau, A.M., Duarte, C.M., Terrados, J. i Marbá, N. 2000. *La Posidònia. L'Alga que no ho és.* Direcció General de Pesca, Palma de Mallorca. 59 pp.

Mateu, G., Viñals, M.J., Moreiro, M. i Nadal, G. 2001. La transgresión flandriense a través de los foraminíferos bentónicos del Mar Balear. In: Pons, G.X i Guijarro, J.A. (eds.), *El canvi climatic: passat, present i futur.* Monografies de la Societat d'Hisória Natural de les Balears 9: 13-31.

Medina, J.R., Tintoré, J. i Duarte, C.M. 2001. Las praderas de Posidonia y la regeneración de playas. *Revista de Obras Públicas*, 3409: 31-43.

Medina Pons, F.J. 2003. *Evaluación de los aspectos ecológicos, económicos y sociales de las praderas de Posidonia oceanica en Mallorca.* Memoria final Proyecto fin de carrera en Ciencias Ambientales Universitat Autónoma de Barcelona. 88 p.

San Félix, M. 2000. *La Posidònia. El bosc submergit.* Quaderns de Natura de les Balears. Palma de Mallorca. 77 p.

Sánchez, M. 2003. *Study of the spatio-temporal changes in the distribution of the seagrass Posidonia oceanica in Mallorca (Balearic Islands, Spain) between 1956 and 2001 by remote sensing and GIS methods.* M.Sc. thesis, Univ. of Wales. Bangor, UK. 56 pp.